摄食浒苔和人工饵料的点篮子鱼幼鱼肌肉营养成分比较

宋　超　赵　峰　刘鉴毅　王　妤　黄晓荣　庄　平*

(中国水产科学研究院东海水产研究所，农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室，上海 200090)

摘　要：本试验旨在比较摄食浒苔和人工饵料的点篮子鱼幼鱼肌肉营养成分。试验选择180尾体质健壮、规格一致的点篮子鱼幼鱼，设置2个饵料组（浒苔组和人工饵料组），分别投喂浒苔鲜样和人工饵料，每组3个重复，每个重复30尾鱼，试验期90 d。结果表明：1）浒苔组点篮子鱼幼鱼的增重率、特定生长率和相对增长率均显著低于人工饵料组($P<0.05$)；浒苔组点篮子鱼幼鱼的粗蛋白质和粗灰分含量显著高于人工饵料组($P<0.05$)，而粗脂肪含量显著低于人工饵料组($P<0.05$)，水分含量在2组间无显著性差异($P>0.05$)。2）浒苔组和人工饵料组点篮子鱼幼鱼的氨基酸组成基本一致，均检出17种氨基酸，必需氨基酸指数(EAAI)分别为76.72和70.05，其构成比例符合联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)的标准。3）浒苔组点篮子鱼幼鱼脂肪酸中二十碳五烯酸(EPA)+二十二碳六烯酸(DHA)和ω3多不饱和脂肪酸含量(ω3PUFA)含量均显著高于人工饵料组($P<0.05$)。从以上结果可见，2组点篮子鱼幼鱼均含有多种营养组成，但从EAAI及EPA+DHA、ω3PUFA含量来看，浒苔组点篮子鱼的各种必需氨基酸和重要多不饱和脂肪酸营养均较优，摄食浒苔后的点篮子鱼味道鲜美，并具有较高的食用价值和保健作用。

关键词：点篮子鱼；营养成分；氨基酸；脂肪酸；浒苔；人工饵料

中图分类号：S963.21⁺3　　文献标识码：　　文章编号：

点篮子鱼(*Siganus guttatus*)隶属于鲈形目(Perciformes)、篮子鱼科(Siganidae)、篮子鱼属，主要产于热带、亚热带的印度-太平洋及我国南海海域，从珊瑚礁到河口水域均有分布[1]。点篮子鱼作为一种杂食、广盐、暖水性鱼类，对环境适应能力强，养殖技术简单，病害少，生长速度快，具有可观的经济效益[2]；其还具有喜食养殖网箱上附着藻类的习性，在保持网箱清洁、水质良好等方面也发挥着重要作用，具有较好的生态效益。点篮子鱼良好的经济与生态效益已引起人们的广泛关注[3]。

浒苔(*Enteromorpha prolifra*，*E. prolifra*)俗称苔条、青海苔等，隶属绿藻门(Chlorophyta)、石莼目(Ulvales)、石莼科(Ulvaceae)、浒苔属[4]。广泛分布于世界海洋、河口以及海陆结合部的咸淡水生境中[5]，我国南、北方各海区均有分布，属东海海域优势种[6]。近年来，由于全球变暖，水体富营养化，浒苔等海洋绿藻大量增殖，引起“绿潮”频发，对周边养殖业造成相应危害，尤其对海参的危害严重[7]。

目前，我国北方地区正尝试利用点篮子鱼喜食浒苔等藻类的习性来控制刺参(*Stichopus japonicus*)等养殖水体中过度滋生的浒苔，防止浒苔的过度生长对养殖水环境危害，达到生

收稿日期：2016-12-01

基金项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2014T15)；上海市科技兴农推广项目[沪农科推字(2014)第 3-2号]

作者简介：宋　超(1980-)，男，籍贯？，博士，从事鱼类生理生态学和营养研究。E-mail: songc@ecsf.ac.cn

***通信作者：**庄　平，研究员，博士生导师，E-mail: pzhuang@hotmail.com

态健康养殖的目的。目前已对摄食浒苔点篮子鱼的生长习性、消化酶活性和抗氧化酶活性等进行了系统研究[8-10]，但对其摄食浒苔后的肌肉营养成分组成状况未知。因此，本研究采用生化分析的手段，对浒苔和人工饵料饲喂的点篮子鱼幼鱼的肌肉营养品质进行评价，以明确点篮子鱼摄食浒苔后的营养状况，进一步探讨浒苔作为点篮子鱼饵料的应用潜力。

1　材料与方法

1.1　试验用鱼

试验用鱼为东海水产研究所海南琼海研究中心人工繁育的点篮子鱼幼鱼，空运至山东威海，选取体质健壮、规格一致的幼鱼用于试验，其体长为(39.9±2.3) mm，体质量为(2.1±0.2) g。

1.2　试验设计与饲养管理

试验在山东省威海市小石岛国家级海洋特别保护区海域海参养殖海湾进行。在海区选取规格为 2.5 m×1.5 m×1.5 m、网目 0.5 mm 的网箱进行试验，选择 180 尾点篮子鱼幼鱼，设置 2 个饵料组（浒苔组和人工饵料组），分别投喂浒苔鲜样和人工饵料，每组 3 个重复，每个重复 30 尾鱼，试验时间为 2014 年 6 月 24 日至 2014 年 9 月 19 日，为期 90 d。每天 05:30、09:00、13:00、17:00 投喂，观察其摄食情况，做到饱食投喂，并及时清理食物残渣，换水随当地潮汐自然进行。试验期间水温 23.0~26.5 ℃，盐度 28~30，pH 8.0±0.5，溶氧 5 mg/L 以上。2 种不同饵料(浒苔和人工饵料)的常规营养组成见表 1，脂肪酸组成见表 2。

表 1　2 种不同饵料的常规营养组成（干物质基础）

Table 1　General nutritional composition of two different feeds (DM basis)　　%

项目 Items	浒苔 *E. prolifra*	人工饵料 Artificial feed
粗蛋白质 Crude protein	22.58	31.30
粗脂肪 Crude fat	0.26	7.94
粗纤维 Crude fiber	10.74	6.61
粗灰分 Ash	15.88	7.52
碳水化合物 Carbohydrate	50.54	46.63

表 2　2 种不同饵料的脂肪酸组成

Table 2　Fatty acids composition of two different feeds　　%

脂肪酸 Fatty acids	浒苔 *E. prolifra*	人工饵料 Artificial feed
$C_{14:0}$	2.75	0.38
$C_{15:0}$		0.06
$C_{16:0}$	25.55	13.33
$C_{17:0}$	0.31	0.12
$C_{18:0}$	1.70	3.08
$C_{20:0}$		0.42
$C_{21:0}$		0.02
$C_{22:0}$	1.45	0.31
$C_{24:0}$		0.17
∑SFA	31.76	17.88
$C_{16:1}$	7.07	0.58

$C_{17:1}$	0.56	0.06
$C_{18:1\omega9t}$	0.39	
$C_{18:1\omega9c}$	33.45	26.76
$C_{20:1\omega9}$	0.17	0.42
$C_{22:1\omega9}$	0.32	0.16
$C_{24:1\omega9}$		0.07
∑MUFA	41.95	28.05
$C_{18:2\omega6t}$	0.64	0.02
$C_{18:2\omega6c}$	5.14	47.86
$C_{20:2}$	1.63	0.11
$C_{22:2}$	0.53	
$C_{18:3\omega6}$	4.98	0.06
$C_{18:3\omega3}$(ALA)	2.92	4.94
$C_{20:3\omega3}$		0.05
$C_{20:4\omega6}$(ARA)	0.30	0.15
$C_{20:5\omega3}$(EPA)	2.36	0.34
$C_{22:5\omega3}$(DPA)	0.37	
$C_{22:6\omega3}$(DHA)	6.40	0.53
∑PUFA	25.28	54.05

SFA 为饱和脂肪酸，MUFA 为单不饱和脂肪酸，ALA 为α-亚麻酸，ARA 为花生四烯酸，EPA 为二十碳五烯酸，DPA 为二十二碳五烯酸，DHA 为二十二碳六烯酸，PUFA 为多不饱和脂肪酸。表 6 同。SFA is saturated fatty acids, MUFA is mono-unsaturated fatty acids, ALA is α-linolenic acid, ARA is arachidonic acid, EPA is eicosapentaenoic acid, DPA is docosapentenoic acid, DHA is docosahexenoic acid, PUFA is poly unsaturated fatty acids. The same as Table 6。

1.3 样品采集

试验结束后，对试验鱼禁食24 h后，从每个网箱内随机抽取样品10尾，每个饵料组3个网箱共取样30尾，用200 mg/L间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222)进行麻醉，测量体长和体质量，其中浒苔组体长为(6.60±0.58) cm，体质量为(9.61±0.61) g；人工饵料组体长为(7.87±0.48) cm，体质量为(15.44±0.38) g，检测分析时随机从30尾鱼中选取5尾鱼组成1组，共6组，随即于冰盘上解剖，取每组的新鲜肌肉样品，取样后捣碎，混合均匀，用于肌肉常规成分、氨基酸和脂肪酸含量测定。

1.4 样品测定方法

按 GB 5009.5—85 的方法分别测定水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量；按 GB/T 14965—1994 的方法使用 Biochrom-20 型氨基酸自动分析仪测定各氨基酸含量；按 GB/T 5009.168—2003 的方法使用 Agilent-6890 型气相色谱仪测定各脂肪酸含量。

1.5 营养品质评价方法

根据联合国粮农组织（FAO）/世界卫生组织（WHO）(1973)建议的氨基酸评分标准模式(%，干物质基础)和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式(%，干物质基础)分别按以下公式计算氨基酸评分(amino acid score,AAS)、化学评分(chemical score,CS)和必需氨基酸指数(essential amino acid index,EAAI)[11-13]：

$$AAS=\frac{aa}{AA(FAO/WHO)};$$

$$CS=\frac{aa}{AA(Egg)};$$

$$EAAI=\sqrt[n]{\frac{100A}{AE}\times\frac{100B}{BE}\times\frac{100C}{CE}\times\cdots\times\frac{100G}{GE}}。$$

式中：*aa* 为试验样品氨基酸含量(%)；*AA*(FAO/WHO)为 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量(%)；*AA*(Egg)为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(%)；*n* 为比较的必需氨基酸数；*A*、*B*、*C*…*G* 为样品蛋白质的必需氨基酸含量(%)；*AE*、*BE*、*CE*…*GE* 为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量(%)。

1.6 数据统计与处理

所有数据在做统计分析前，采用 SPSS 13.0 统计软件中非参数统计分析(nonparametic tests)中的 1-Sample K-S(Normal)过程进行正态性检验。经检验，原始数据均服从正态分布。用独立样本 *t*-检验(independent samples *t* test)进行 2 组间的比较，同时用 Levene's test 进行方差齐性检验；方差不齐时，用 2 Independent Samples 中的 Mean-Whitney U 作 2 组间进一步的比较。描述性统计值使用平均值±标准差(mean±SD)表示，$P<0.05$ 为具有显著性差异。

2 结 果

2.1 生长指标及营养组成

浒苔组和人工饵料组点篮子鱼幼鱼的生长指标及营养组成测定结果如表 3 所示。浒苔组点篮子鱼幼鱼的末体质量、增重率、特定生长率、相对增长率均显著低于人工饵料组($P<0.05$)。浒苔组点篮子鱼幼鱼肌肉中粗蛋白质和粗灰分含量显著高于人工饵料组($P<0.05$)，而粗脂肪含量显著低于人工饵料组($P<0.05$)，水分含量在 2 组间差异不显著($P>0.05$)。

表 3 2 饵料组点篮子鱼幼鱼的生长指标及营养组成

Table 3 Growth index and nutritional composition of juvenile *Siganus guttatus* in two feed groups

项目 Items	浒苔组 *E. prolifra* group	人工饵料组 Artificial feed group
生长指标 Growth index		
初体质量 Initial body weight/g	2.13±0.17	2.09±0.15
末体质量 Final body weight/g	9.61±0.61^a	15.44±0.38^b
增重率 Weight gain rate/%	350.50±0.28^a	631.13±3.36^b
特定生长率 Specific growth rate/%	1.67±0.07^a	2.21±0.01^b
相对增长率 Relative growth rate/%	68.32±2.49^a	99.63±2.13^b
营养组成 Nutritional composition		
水分 Moisture/%	79.78±1.29	75.68±1.45
粗蛋白质 Crude protein/% DM	87.88±1.14^a	80.40±0.62^b
粗脂肪 Crude fat/% DM	9.42±0.40^a	17.13±0.39^b
粗灰分 Ash/% DM	2.70±0.20^a	2.47±0.07^b

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。表 4、表 6 同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as Table 4 and Table 6.

2.2 氨基酸分析及品质评价

浒苔组和人工饵料组点篮子鱼幼鱼肌肉中氨基酸组成如表 4 所示。共检出 17 种常见氨

基酸，其中参与蛋白质合成的包括 7 种必需氨基酸(EAA)：苏氨酸（Thr）、缬氨酸（Val）、蛋氨酸（Met）、苯丙氨酸（Phe）、异亮氨酸（Ile）、亮氨酸（Leu）和赖氨酸（Lys）；2 种半必需氨基酸(HEAA)：组氨酸（His）和精氨酸（Arg）；7 种非必需氨基酸(NEAA)：酪氨酸（Tyr）、天冬氨酸（Asp）、谷氨酸（Glu）、丝氨酸（Ser）、甘氨酸（Gly）、丙氨酸（Ala）、脯氨酸（Pro）；以及 1 种以游离状态存在的牛磺酸(Tau)。测定结果显示，除 Gly、Met 和 Leu 的含量在 2 组间差异不显著(P>0.05)外，其他氨基酸含量在 2 组间均存在显著性差异(P<0.05)。浒苔组的氨基酸总量(W_{TAA})、必需氨基酸总量(W_{EAA})、半必需氨基酸总量(W_{HEAA})、非必需氨基酸总量(W_{NEAA})和鲜味氨基酸总量(W_{DAA})均显著高于人工饵料组(P<0.05)。比较 2 组间各种氨基酸的含量，除 Gly 含量在人工饵料组较高外，其他氨基酸含量均是在浒苔组中较高。在所测得的 17 种氨基酸中，Glu 含量最高，其次为 Asp、Lys、Leu 含量，而 Tau 含量最低。

表 4　2 饵料组点篮子鱼幼鱼肌肉中氨基酸组成(干物质基础)

Table 4　Amino acids composition in muscles of juvenile *Siganus guttatus* fed in two feed groups (DM basis）　%

氨基酸 Amino acids	浒苔组 *E. prolifra* group	人工饵料组 Artificial feed group
牛磺酸 Tau	0.91±0.14[a]	0.72±0.04[b]
天冬氨酸 Asp	9.26±0.35[a]	8.47±0.34[b]
苏氨酸 Thr	4.12±0.16[a]	3.77±0.15[b]
丝氨酸 Ser	3.71±0.12[a]	3.41±0.15[b]
谷氨酸 Glu	14.08±0.58[a]	12.75±0.57[b]
甘氨酸 Gly	4.12±0.18	4.28±0.20
丙氨酸 Ala	6.03±0.25[a]	5.49±0.17[b]
缬氨酸 Val	4.55±0.15[a]	4.19±0.16[b]
蛋氨酸 Met	2.28±0.22	2.09±0.30
异亮氨酸 Ile	4.26±0.16[a]	3.88±0.17[b]
亮氨酸 Leu	7.68±0.33	6.96±0.33
酪氨酸 Tyr	3.34±0.13[a]	3.04±0.13[b]
苯丙氨酸 Phe	3.93±0.16[a]	3.58±0.13[b]
组氨酸 His	2.02±0.06[a]	1.90±0.11[b]
赖氨酸 Lys	8.40±0.33[a]	7.67±0.28[b]
精氨酸 Arg	5.59±0.22[a]	5.14±0.19[b]
脯氨酸 Pro	3.19±0.18[a]	2.97±0.12[b]
氨基酸总量 W_{TAA}	87.48±3.47[a]	80.31±3.10[b]
必需氨基酸总量 W_{EAA}	35.22±1.42[a]	32.13±1.49[b]
半必需氨基酸总量 W_{HEAA}	7.61±0.28[a]	7.04±0.29[b]
非必需氨基酸总量 W_{NEAA}	43.74±1.68[a]	40.42±1.38[b]
鲜味氨基酸总量 W_{DAA}	33.50±1.28[a]	31.00±0.99[b]
必需氨基酸总量/氨基酸总量 W_{EAA}/W_{TAA}/%	40.26	40.00
必需氨基酸总量/非必需氨基酸总量 W_{EAA}/W_{NEAA}/%	80.53	79.47

将表4中的数据换算成每克氮中含氨基酸毫克数(乘以62.50%)后，分别计算出浒苔组和人工饵料组的AAS、CS和EAAI，结果见表5。根据表中的AAS和CS，浒苔组和人工饵料组都是Lys最高，而2组中最低的均为Met+Cys。因而，2组第一限制性氨基酸均为Met+Cys。浒苔组和人工饵料组的EAAI分别为76.71和70.05，从EAAI来看，浒苔组的必需氨基酸组成优于人工饵料组。

表5　2饵料组点篮子鱼幼鱼的AAS、CS及EAAI的比较

Table 5　Comparative analysis of AAS, CS and EAAI of juvenile *Siganus guttatus* in two feed groups　　mg/g

项目 Items	必需氨基酸 EAA	FAO/WHO 模式 FAO/WHO pattern	全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式 Amino acid pattern of whole egg protein	饵料组 Feed groups	
				浒苔组 *E. prolifra* group	人工饵料组 Artificial feed group
氨基酸评分 AAS	异亮氨酸 Ile	2.5		1.06	0.97
	亮氨酸 Leu	4.4		1.09	0.99
	赖氨酸 Lys	3.4		1.54	1.41
	苏氨酸 Thr	2.5		1.03	0.94
	缬氨酸 Val	3.1		0.92	0.84
	蛋氨酸＋半胱氨酸 Met+Cys	2.2		0.65	0.59
	苯丙氨酸＋酪氨酸 Phe+Tyr	3.8		1.19	1.09
化学评分 CS	异亮氨酸 Ile		3.31	0.80	0.73
	亮氨酸 Leu		5.34	0.90	0.81
	赖氨酸 Lys		4.41	1.19	1.09
	苏氨酸 Thr		2.92	0.88	0.81
	缬氨酸 Val		4.10	0.69	0.64
	蛋氨酸＋半胱氨酸 Met+Cys		3.86	0.37	0.34
	苯丙氨酸＋酪氨酸 Phe+Tyr		5.65	0.80	0.73
必需氨基酸指数 EAAI				76.71	70.05

2.3　脂肪酸组成的比较

如表6所示，浒苔组点篮子鱼幼鱼肌肉中检测到7种饱和脂肪酸(SFA)，4种单不饱和脂肪酸(MUFA)和11种多不饱和脂肪酸(PUFA)；人工饵料组点篮子鱼肌肉中检测到9种SFA，7种MUFA和12种PUFA。测定结果除$C_{16:0}$、$C_{20:0}$、$C_{22:0}$、$C_{18:3\omega6}$、$C_{20:3\omega6}$这5种脂肪酸含量在2组间差异不显著($P>0.05$)外，其他脂肪酸在2组间均具有显著性差异($P<0.05$)。从脂肪酸组成上看，浒苔组点篮子鱼幼鱼的∑MUFA含量显著的低于人工饵料组($P<0.05$)；而∑PUFA含量正好相反，浒苔组显著高于人工饵料组($P<0.05$)，∑SFA含量在2组间差异不显著($P>0.05$)。PUFA

比较，浒苔组点篮子鱼幼鱼的二十碳五烯酸(EPA)+二十二碳六烯酸(DHA)和∑ω3PUFA的含量均显著高于人工饵料组(*P*<0.05)；而∑ω6PUFA含量正好相反，浒苔组显著低于人工饵料组(*P*<0.05)。

表 6　2 饵料组点篮子鱼幼鱼肌肉的脂肪酸组成

Table 6　Fatty acid relative composition in muscles of juvenile *Siganus guttatus* in two feed groups　%

脂肪酸 Fatty acids	浒苔组 *E. prolifra* group	人工饵料组 Artificial feed group
$C_{12:0}$		0.93±0.24
$C_{14:0}$	3.77±0.04ᵃ	2.32±0.37ᵇ
$C_{15:0}$	0.38±0.03ᵃ	0.26±0.03ᵇ
$C_{16:0}$	27.67±0.61	28.08±2.59
$C_{17:0}$	0.44±0.03ᵃ	0.30±0.05ᵇ
$C_{18:0}$	6.38±0.07ᵃ	4.86±0.28ᵇ
$C_{20:0}$	0.21±0.01	0.22±0.01
$C_{22:0}$	0.20±0.01	0.16±0.04
$C_{24:0}$		0.22±0.08
∑SFA	39.05±0.57	37.28±2.95
$C_{16:1}$	9.15±0.41ᵃ	5.61±0.73ᵇ
$C_{17:1}$	0.06±0.03ᵃ	0.25±0.08ᵇ
$C_{18:1\omega9t}$		0.18±0.01
$C_{18:1\omega9c}$	14.23±0.17ᵃ	24.40±0.74ᵇ
$C_{20:1\omega9}$	0.69±0.02ᵃ	1.16±0.13ᵇ
$C_{22:1\omega9}$		0.23±0.10
$C_{24:1\omega9}$		0.09±0.05
∑MUFA	24.09±0.21ᵃ	31.89±0.24ᵇ
$C_{18:2\omega6t}$▲		0.04±0.01
$C_{18:2\omega6c}$▲	5.12±0.05ᵃ	16.51±3.02ᵇ
$C_{20:2}$	1.91±0.14ᵃ	0.90±0.24ᵇ
$C_{22:2}$	2.25±0.04ᵃ	0.73±0.28ᵇ
$C_{18:3\omega6}$▲	1.01±0.04	1.40±0.63
$C_{18:3\omega3}$★(ALA)	3.17±0.15ᵃ	1.48±0.07ᵇ
$C_{20:3\omega6}$▲	1.10±0.01	1.75±0.93
$C_{20:3\omega3}$★	0.55±0.01ᵃ	0.29±0.02ᵇ
$C_{20:4\omega6}$(ARA)▲	3.60±0.18ᵃ	1.79±0.65ᵇ
$C_{20:5\omega3}$(EPA)★	4.33±0.12ᵃ	1.15±0.64ᵇ
$C_{22:5\omega3}$(DPA)★	5.61±0.30ᵃ	1.65±0.77ᵇ
$C_{22:6\omega3}$(DHA)★	8.21±0.71ᵃ	3.17±0.56ᵇ
∑PUFA	36.86±0.77ᵃ	30.83±3.18ᵇ
EPA+DHA	12.54±0.62ᵃ	4.32±1.19ᵇ
∑ω3PUFA	21.87±0.78ᵃ	7.74±2.05ᵇ
∑ω6PUFA	10.83±0.12ᵃ	21.47±5.25ᵇ
EPA/DHA	0.53	0.34
∑ω6PUFA /∑ω3PUFA	0.50	2.77

▲：ω6 多不饱和脂肪酸 ω6PUFA，★：ω3 多不饱和脂肪酸 ω3PUFA。

3 讨 论

3.1 摄食浒苔和人工饵料的点篮子鱼幼鱼生长及其肌肉常规营养组成

本试验对摄食浒苔和人工饵料的点篮子鱼幼鱼的生长及肌肉常规营养组成进行比较发现，浒苔组点篮子鱼幼鱼的增重率、特定生长率、相对增长率和粗脂肪含量均相对较低，但其粗蛋白质和粗灰分含量较高。摄食不同饵料组点篮子鱼的生长速率和营养组成不同，与其饵料的营养组成和对不同饵料的摄食方式密切相关。本研究中 2 种饵料的营养组成均不在点篮子鱼的最适水平，但通过分析可知人工饵料的营养组成更接近其最适水平，故人工饵料组幼鱼的生长快于浒苔组[9]。同时，浒苔组所摄食的浒苔中的脂肪含量较低，并且在摄食浒苔过程中要不断的切割藻丝，并随藻丝的断裂在水中做沉浮运动[8]，其活跃的摄食活动消耗了大量能量，从而避免了脂肪在体内的过度积累，故浒苔组肌肉中脂肪含量相对较低；反之，点篮子鱼获取人工饵料较为容易，摄食能耗低，人工饵料中脂肪含量也相对较高，因此人工饵料组肌肉中会有较多的脂肪积累，脂肪含量相对较高。鱼肉品质评价通常以蛋白质和脂肪含量的高低为标准。肌肉中脂肪含量过高一方面会使人食用后过多摄入脂肪，另一方面过高的脂肪含量会导致肌肉质地疏松，也不利于肉质口感的体现[14-15]。综合来看，浒苔组点篮子鱼虽然生长相对较慢，但其蛋白质含量较高而脂肪含量较低，其肌肉品质更符合鱼肉营养中“高蛋白质、低脂肪”的优质特点。

3.2 摄食浒苔和人工饵料的点篮子鱼幼鱼肌肉氨基酸组成

氨基酸是蛋白质的基本组成单位，通常用于蛋白质、酶类以及激素的合成，有些可直接用作药物，或在剧烈运动时作为燃料产生能量，并能促进体内新陈代谢作用。研究表明，蛋白质的营养价值和优良程度主要由氨基酸的种类及必需氨基酸的含量所决定[13]。本研究中浒苔组和人工饵料组点篮子鱼肌肉中必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值(W_{EAA}/W_{TAA})和必需氨基酸总量与非必需氨基酸总量的比值(W_{EAA}/W_{NEAA})均符合 FAO/WHO 的理想模式中质量较好的蛋白质的氨基酸 W_{EAA}/W_{TAA} 为 40%左右、W_{EAA}/W_{NEAA} 在 60%以上的标准[13]，可见 2 组点篮子鱼的肌肉氨基酸的平衡效果均较好。从氨基酸含量来看，本研究中 2 组点篮子鱼肌肉中含量最高的氨基酸均为 Glu，它不仅是重要的鲜味氨基酸，而且是一种重要的渗透调节物，在鱼类的渗透压和离子调节等过程发挥重要作用[16]，同时它还是脑组织生化代谢中的重要氨基酸，参与多种生理活性物质的合成[17]。其次，含量较高的氨基酸为 Asp，它也是一种鲜味氨基酸，它在细胞内线粒体的能量代谢、氮代谢，中枢神经系统兴奋神经递质产生，体内尿素循环等方面起着重要作用[18-19]。在必需氨基酸中含量最高的均为 Lys，其在浒苔组和人工饵料组的 AAS 和 CS 值均超过 FAO/WHO 氨基酸标准，分别为其 1.54 倍和 1.41 倍。Lys 可增强胃液分泌，促进机体造血，缺乏 Lys 会导致蛋白质代谢障碍和机能障碍[20]。除此之外，在 2 组点篮子鱼肌肉中均检测到 Tau，它具广泛的生物功能，机体内几乎所有正常生理活动的维持和调节都需要 Tau 的参与[21]。综合来看，在 2 组点篮子鱼肌肉氨基酸组成中 W_{EAA}/W_{TAA} 和 W_{EAA}/W_{NEAA}，必需氨基酸、鲜味氨基酸总量以及 Glu、Asp、Lys 和 Tau 等重要氨基酸含量比较，均是浒苔组显著高于人工饵料组，可见摄食浒苔的点篮子鱼具有更好的鲜味、品质和保健功能。

3.3 摄食浒苔和人工饵料的点篮子鱼幼鱼肌肉脂肪酸组成

脂肪是加热产生香气成分不可缺少的物质，尤其是高含量 PUFA 能显著地增加香味，同时在一定程度上反映肌肉的多汁性[13]。已有研究表明，PUFA 具有明显的降血脂、抑制血小板凝集、降血压、提高生物膜液态性、抗肿瘤和免疫调节作用[13]。在 PUFA 中，ω3PUFA 和 ω6PUFA 是 2 类与人体健康密切相关脂肪酸。本研究中，浒苔组和人工饵料组点篮子鱼肌肉中∑ω6PUFA/∑ω3PUFA 分别为 0.50 和 2.77，均低于英国卫生部建议的该比值最大不超过 4.0 的标准[22]。如果∑ω6PUFA/∑ω3PUFA 高于 4.0，则对人体健康不利，甚至可能提高心血管疾病的发病率[23]。鱼类脂肪酸组成的不同是由鱼类的大小、年龄、生殖状态、环境条件和饵料来源等共同决定的，本研究中 2 组点篮子鱼肌肉中脂肪酸含量的差异主要是由其饵料不同决定。浒苔含有丰富的蛋白质、脂肪酸、氨基酸及矿物质等多种营养物质，是一种重要的经济海藻，目前已作为新的饲料资源受到广泛关注[29-30]。很多研究已证实浒苔是一种高蛋白质、低脂肪、富含矿物质和生物活性物质、营养丰富的绿色藻类[31-32]。本研究中浒苔含有的 EPA+DHA 含量（8.76%）远高于人工饵料中含量（0.87%），但浒苔中 C18:2ω6c 和 C18:3ω3 的含量（8.06%）远低于人工饵料中含量（52.80%）。根据已有研究证实，植食性海水鱼类能够将 C18:2ω6c 和 C18:3ω3 合成花生四烯酸（ARA）、EPA、DHA 等高度不饱和脂肪酸[33-34]，并且这种合成能力在低盐度要比在高盐度的海水中强[34]。而本研究中点篮子鱼饲养在盐度（28~30）相对较高的水体中，浒苔中含有的 C18:2ω6c 和 C18:3ω3 等用于合成 ARA、EPA、DHA 等不饱和脂肪酸的前体物质较少，不利于浒苔组自身 EPA 和 DHA 的合成，但从本研究的结果来看，浒苔组中 EPA+DHA 含量（12.54%）却远大于摄食人工饵料组（4.32%），进一步说明了浒苔组高含量的 EPA 和 DHA 等ω3PUFA 主要是通过摄食从浒苔中富集而来。食用富含ω3PUFA 的鱼类可以改善人体的健康和营养状况[24]，其中 EPA 和 DHA 主要存在于海洋鱼类脂肪内，是人和动物生长发育所必需的脂肪酸，对防治心脏疾病和糖尿病有明显效果[25-26]。因此，鱼类脂肪质量的优劣在很大程度上取决于高度不饱和脂肪酸 EPA 和 DHA 的含量[27]。另外，ALA 作为ω3 系的母体，人体自身不能合成，只能通过食物从体外摄取，它对脑神经及视网膜功能具有高度的保护作用，它能高度增强智力、高度抑制过敏反应、抑制脑出血、降血脂、降血压、抑制老化等[28]。综合来看，在 2 组点篮子鱼肌肉脂肪酸组成中∑ω6PUFA/∑ω3PUFA、ω3PUFA、EPA+DHA 和 ALA 等重要多不饱和脂肪酸含量，均是浒苔组显著优于人工饵料组，故摄食浒苔的点篮子鱼具有更好的必需脂肪酸营养品质及免疫和保健功能。

4 结　论

① 摄食浒苔的点篮子鱼肌肉中蛋白质含量较高、脂肪含量较低，其肌肉品质具有“高蛋白质、低脂肪”的优质特点。

② 摄食浒苔的点篮子鱼肌肉的必需氨基酸和鲜味氨基酸含量较高，必需氨基酸组成比较平衡，富含多种重要氨基酸成分，具有更好的鲜味，良好品质和保健功能。

③ 摄食浒苔的点篮子鱼肌肉富含 EPA、DPA、DHA 和 ALA 等多种重要多不饱和脂肪酸成分，具有更好的必需脂肪酸营养品质及免疫和保健功能。

参考文献:

[1] 马强,刘静.中国沿海常见蓝子鱼形态比较研究[J].海洋科学,2006,30(9):16–22.

[2] 宋超,章龙珍,刘鉴毅,等.池塘低盐养殖点篮子鱼肌肉营养成分的分析与评价[J].海洋渔业,2012,34(4):444–450.

[3] 刘鉴毅,章龙珍,庄平,等.点篮子鱼人工繁育技术研究[J].海洋渔业,2009,31(1):73–81.

[4] 王建伟,林阿朋,李艳燕,等.浒苔(*Enteromorpha prolifera*)藻体发育的显微观察[J].生态科学,2006,25(5):400–404.
[5] 刘晨临,王秀良,刘胜浩,等.2008 年黄海浒苔绿潮 ISSR 标记溯源分析[J].海洋科学进展,2011,29(2):235–240.
[6] 李晓,王颖,吴志宏,等.浒苔对刺参幼参生长影响的初步研究[J].中国水产科学,2013,20(5):1092–1099.
[7] 孙修涛,王翔宇,汪文俊,等.绿潮中浒苔的抗逆能力和药物灭杀效果初探[J].海洋水产研究,2008,29(5):130–136.
[8] 胡成硕,刘鉴毅,赵峰,等.点篮子鱼幼鱼摄食浒苔的习性及生长特征[J].海洋渔业,2015,37(4):349–356.
[9] 宋超,胡成硕,章龙珍,等.人工饲料和浒苔饲喂对点篮子鱼幼鱼生长性能和消化酶活性影响[J].海洋渔业,2015,37(6):525–532.
[10] SONG C,HU C S,ZHANG L Z,et al.Study on growth,serum biochemical and antioxidant enzyme indices of juvenile *Siganus guttatus* fed with *Enteromorpha prolifra* and artificial feed[J].Animal Husbandry and Feed Science,2016,8(5):301–306.
[11] PELLETT P L,YONG V R.Nutritional evaluation of protein foods[M].Tokyo:The United National University Publishing Company,1980:26–29.
[12] 于久翔,高小强,韩岑,等.野生和养殖红鳍东方鲀营养品质的比较分析[J].动物营养学报,2016,28(9):2987–2997.
[13] 邴旭文,蔡宝玉,王利平.中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价[J].中国水产科学,2005,12(2):211–215.
[14] THAKUR D P,MORIOKA K,ITOH Y,et al.Influence of muscle biochemical constituents on the meat texture of cultured yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) at different anatomical locations[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2002,82(13):1541–1550.
[15] THAKUR D P,MORIOKA K,ITOH Y,et al.Lipid composition and deposition of cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata* muscle at different anatomical locations in relation to meat texture[J].Fisheries Science,2003,69(3):487–494.
[16] BENDER D A.Amino acids synthesized from glutamate:glutamine,proline,ornithine,citrulline and arginine[M]//BENDER D A.Amino Acid Metabolism.3rd ed.London:John Wiley & Sons,Ltd,2012:157–223.
[17] 孙中武,李超,尹洪滨,等.不同品系虹鳟的肌肉营养成分分析[J].营养学报,2008,30(3):298–302.
[18] 蔡春尔,姚彬,沈伟荣,等.条浒苔营养成分测定与分析[J].上海海洋大学学报,2009,18(2):155–159.
[19] 杨欢,黎中宝,李元跃,等.厦门海域浒苔种类鉴定及其营养成分分析[J].中国渔业质量与标准,2013,3(4):70–75.
[20] GRIGORAKIS K.Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it:a review[J].Aquaculture,2007,272(1/2/3/4):55–75.
[21] 鲍建民.牛磺酸的生物功能研究进展[J].食品与药品,2006,8(05):18–20.
[22] [No authors listed].Nutritional aspects of cardiovascular disease.Report of the cardiovascular review group committee on medical aspects of food policy[J].Reports on Health and Social Subjects,1994,46:1–186.
[23] MOREIRA A B,VISENTAINER J V,DE SOUZA N E,et al.Fatty acids profile and cholesterol contents of three Brazilian *Brycon* freshwater fishes[J].Journal of Food Composition and Analysis,2001,14(6):565–574.
[24] ZHANG W G,XIAO S,SAMARAWEERA H,et al.Improving functional value of meat products[J].Meat Science,2010,86(1):15–31.
[25] 张凤枰,宋军,张瑞,等.养殖南方大口鲶肌肉营养成分分析和品质评价[J].食品科学,2012,33(17):274–278.
[26] 黄文,盛竹梅,于仕斌,等.人工养殖与野生江鳕肌肉营养成分比较分析[J].浙江海洋学院学报:自然科学版,2015,34(1):36–39.
[27] 徐梅英,陈云仙,吴常文.网箱养殖与野生黄姑鱼肌肉营养成份比较[J].浙江海洋学院学报:自然科学版,2010,29(4):340–345.
[28] 李英霞,武继彪,钟方晓.α-亚麻酸的研究进展[J].中草药,2001,32(7):667–669.

[29] 孙文,张国琛,李秀辰,等.浒苔资源利用的研究进展及应用前景[J].水产科学,2011,30(9):588–590.
[30] 罗佳捷,肖淑华,张彬,等.浒苔的研究进展及其在动物生产中的应用[J].饲料博览,2014(2):31–34.
[31] 宁劲松,翟毓秀,赵艳芳,等.青岛近海浒苔的营养分析与食用安全性评价[J].食品科技,2009,34(8):74–79.
[32] 林英庭,朱风华,王利华,等.浒苔的营养成分及安全性评价[J].饲料工业,2015,36(16):1–6.
[33] ZHENG X Z,TOCHER D R,DICKSON C A,et al.Effects of diets containing vegetable oil on expression of genes involved in highly unsaturated fatty acid biosynthesis in liver of Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J].Aquaculture,2004,236(1/2/3/4):467–483.
[34] LI Y Y,HU C B,ZHENG Y J,et al.The effects of dietary fatty acids on liver fatty acid composition and Δ^6-desaturase expression differ with ambient salinities in *Siganus canaliculatus*[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,2008,151(2):183–190.

Comparison of Nutritive Components in Muscles of Juvenile *Siganus guttatus* Fed with *Enteromorpha prolifra* and Artificial Feed

SONG Chao ZHAO Feng LIU Jianyi WANG Yu HUANG Xiaorong ZHUANG Ping*

(*Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization*, *Ministry of Agriculture*, *East China Sea Fisheries Research Institute*, *China Academy of Fishery Sciences*, *Shanghai* 200090, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to compared the nutritive components in muscles of juvenile *Siganus guttatus* fed with *Enteromorpha prolifra* and artificial feed. A total of 180 healthy juvenile *Siganus guttatus* with similar body weight were divided into 2 feed groups (*Enteromorpha prolifra* group and artificial feed group), and fed with *Enteromorpha prolifra* and artificial feed, respectively. Each group contained 3 replicates and each replicate contained 30 fish. The experiment lasted for 90 days. The results showed as follows: 1） the weight gain rate, specific growth rate and relative growth rate of juvenile *Siganus guttatus* in *Enteromorpha prolifra* group were significantly lower than that in artificial feed group (P<0.05); the content of crude protein and crude ash of juvenile *Siganus guttatus* in *Enteromorpha prolifra* group was significantly higher than that in artificial feed group (P<0.05), however, the content of crude fat of juvenile *Siganus guttatus* in *Enteromorpha prolifra* group was significantly lower than that in with artificial feed group (P<0.05), the moisture content between two groups had no significant difference (P>0.05). 2) The composition of amino acids was similar between *Enteromorpha prolifra* group and artificial feed group. Seventeen kinds of amino acids were found in both two groups, the essential amino acids index (EAAI) was 76.71 and 70.05, respectively. The component of the essential amino acids (EAA) met the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/Word Health Organization (WHO) Standard. 3) The content of eicosapentaenoic acid （EPA）+ docosahexenoic acid （DHA）and ω3 poly unsaturated fatty acids （ω3PUFA） of juvenile *Siganus guttatus* in *Enteromorpha prolifra* group was significantly higher than that in artificial feed group (P<0.05). In conclusion, the juvenile *Siganus guttatus* in two groups contains a variety of nutritional composition, however, considered the EAAI and the content of EPA+DHA and ω3PUFA, the nutrient of essential amino acids and major polyunsaturated fatty acids of juvenile *Siganus guttatus* is better in *Enteromorpha prolifra*

group, *Siganus guttatus* fed with *Enteromorpha prolifra* is a nutritive and delicious food fish, and it can be an important aquaculture species with high edible value and health care function.

Key words: *Siganus guttatus*; nutritive component; amino acids; fatty acids; *Enteromorpha prolifra*; artificial feed

*Corresponding author, professor, E-mail: pzhuang@hotmail.com (责任编辑　武海龙)